



**Биохимические технологии обработки сложных по составу подземных вод.  
(УП «Полимерконструкция», Республика Беларусь)**

*УП «Полимерконструкция» (Республика Беларусь),  
Елоховик Валерий Леонидович, Главный технолог,  
Гудинович Павел Михайлович, Инженер технолог*

Актуальность вопросов, связанных с получением воды питьевого качества не снизится никогда, а с учетом ухудшающейся всеобщей экологической обстановки, будет только повышаться. Сегодня, к сожалению, негативное антропогенное воздействие фиксируется не только на слабозащищенные поверхностные, но и защищенные подземные источники. И выражается это не только в ухудшении качества подземных вод верхних водоносных горизонтов, но и в уменьшении располагаемых запасов воды в них.

Стоимость очищенной воды для питьевых и промышленных нужд растет и это заставляет рассматривать вопросы себестоимости наравне с обеспечением качества водоснабжения. Обеспечение водой требуемого качества по минимально возможной стоимости – это та задача, которая сегодня должна решаться при реализации объектов водоподготовки. При этом стоит учитывать тот факт, что минимально возможная стоимость водоснабжения обеспечивается не только минимизацией капитальных затрат на строительство объектов водоснабжения. Эксплуатационные затраты зачастую дают намного более высокую нагрузку на стоимость 1 м<sup>3</sup> очищенной воды, нежели все прочие вместе взятые.

На сегодняшний день существует ряд технологий получения очищенной подземной воды как для питьевых, так и для промышленных нужд. Но использование биологических методов водоподготовки артезианских вод обеспечивает не только высокое и стабильное качество очищенной воды но и минимизацию эксплуатационных затрат.

Первые опыты применения биологических методов в технологиях водоподготовки относятся к 50-м годам прошлого века [1]. Но широкого практического распространения не получили [2]. В Республике Беларусь биологические методы, как одни из первых на постсоветском пространстве, начали исследоваться и применяться более четверти века тому назад. Одна из первых крупных станций обезжелезивания производительностью более 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут., в которой реализован биологический метод, была введена в эксплуатацию в г. Новополоцке в 1991 г. За этот период времени на основе данных методов разработано, изготовлено и введено в эксплуатацию более 800 станций водоподготовки, в том числе более 150 из них в России. В них реализованы различные технологические и конструктивные схемы в зависимости от состава и свойств подземных вод, производительности и местных условий. Это станции напорного и безнапорного типа; с традиционной тяжелой (песчаной) и плавающей загрузкой; одно- и двухступенчатые; в полимерном и металлическом исполнении; контейнерные и в зданиях из ЛМК; производительностью от нескольких сотен до 75 тысяч м<sup>3</sup> в сутки; с учетом работы на водонапорную башню, РЧВ или непосредственно на водоразборную сеть.

Все эти станции, независимо от того, что в них удаляется (железо, марганец, сероводород, аммиак или их сочетания) объединяет одно – использование биологического метода удаления этих веществ. Среди них можно выделить следующие основные технологические и конструктивные схемы таких станций.

## **1. Станции обезжелезивания**

### **1.1. Безнапорные станции с тяжелой загрузкой**

Железобактерии в процессе своего развития образуют на поверхности зерен фильтрующего материала бактериальную пленку. Она может развиваться как в толще загрузки, например, щебеночной, так и преимущественно на ее поверхности при использовании песка. В последнем случае возникает «феномен роста загрузки» характеризуется увеличением толщины слоя фильтрующего материала. Он проявляется при длительной эксплуатации фильтра за счет роста биомассы железобактерий на поверхности гранул загрузки и зародышевых зернах переизмельченного фильтрующего материала. При этом образуются достаточно прочные гранулы с плотностью, меньше плотности песка, которые представляют собой гранулированный слой биологически активной загрузки (БАЗ). При достаточной толщине весь процесс изъятия железа может завершаться в этом слое, а фильтрующий материал при этом выполняет функцию поддерживающего слоя.

Конструктивно такая технология может реализовываться в традиционных открытых фильтрах из железобетона, металла или полимерных материалов. Особое внимание при этом следует обращать на кислородный режим процесса и промывку фильтрующего материала.

Такие технологии рекомендуется использовать при относительно простом составе воды. Их легко реализовать путем реконструкции действующих станций обезжелезивания, работающих по методу упрощенной аэрации на базе классических безнапорных открытых фильтров, которые до сих пор эксплуатируются на многих водозаборах еще с советских времен.

### **1.2. Безнапорные станции с плавающей загрузкой.**

Еще в 90-х годах 20-го века отечественными учеными были разработаны технологические и конструктивные решения станций водоподготовки с легкой плавающей загрузкой [3]. Такие станции могут



быть одно- и двухступенчатые. Первые включают приемную камеру и фильтры с плавающей загрузкой. Они рекомендуются при относительно не сложном составе обрабатываемой воды, но требующей усиления аэрационно-дегазационных процессов.

Двухступенчатая схема состоит из нескольких блоков, включающих биореактор и три-четыре самопромывающихся фильтров с плавающей загрузкой, выполняющих функцию биофильтров. Она рекомендуется при сложном составе подземных вод (низкое значение рН, высокая окисляемость, наличие аммония, высокое содержание железа,  $\text{CO}_2$ , и др.). На первой ступени обеспечивается интенсивная управляемая аэрация и дегазация поступающей воды, развитие биопленки на поверхности полимерной загрузки, биологическое окисление и удаление основной массы железа. На второй ступени происходит доокисление двухвалентного железа и удаление выносимых из биореактора продуктов биоокисления.

Все корпусные элементы, загрузка и коммуникации станций такого типа выполняются из полимерных конструкционных материалов с отдельными элементами из нержавеющей стали. Отсутствие промежуточных перекачек, промывных насосов, химических реагентов и полная автоматизация технологических процессов обеспечивают уникально низкое удельное энергопотребление ( $0,005-0,01 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ) и минимальные эксплуатационные затраты. Объем промывных вод не превышает 1-1,2% от объема очищаемой воды.

Наиболее яркими примерами реализации данных технологических решений являются станции водоподготовки на водозаборах таких городов как Смоленск – 10 000 м<sup>3</sup>/сут., Балтийск – 12500 м<sup>3</sup>/сут., Нарофоминск – 18000 м<sup>3</sup>/сут, Орел – 75 000 м<sup>3</sup>/сут.

### 1.3. Напорные станции

По технологическому принципу работы такие станции не отличаются от безнапорных. Фильтры изготавливаются из металла с усиленным антикоррозионным покрытием. В качестве загрузки (поддерживающего слоя) используется кварцевый песок. Для быстрого ввода станции в эксплуатацию используется добавка БАЗ из фильтров других станций.

Отличительной особенностью данного типа станций является оригинальная система эжекторной аэрации, обеспечивающая стабильное соотношение вода-воздух и равномерное распределение воды по всем фильтрам независимо от гидравлического сопротивления загрузки [4, 5]. Выравнивание и стабилизация скорости фильтрования и концентрации растворенного кислорода наряду с другими оригинальными конструктивными решениями повышают эффективность удаления железа, увеличивают фильтроцикл до 7 сут. и более и снижают расхода промывной воды до 0,3-0,5% от производительности станции, что весьма положительно сказывается на эксплуатационных затратах. Среди множества объектов реализованных по данной технологии можно выделить водозаборы г. Белоозерск – 7500 м<sup>3</sup>/сут., г. Дзержинск – 2 водозабора суммарной производительностью 6000 м<sup>3</sup>/сут., Тырьеть Иркутской обл. – 600 м<sup>3</sup>/сут.

### 1.4. Контейнерные станции

В станциях этого типа сохранены все положительные технологические и конструктивные решения напорных станций (см. п. 1.3). Отличительной их особенностью являются компоновочные решения, позволяющие производить и поставлять станции обезжелезивания полной заводской готовности в одиночных или спаренных транспортируемых контейнерах.

В зависимости от существующей или проектируемой схемы водозабора контейнерные станции выпускаются трех модификаций:

- работа на водонапорную башню (промывка фильтров из башни);
- работа на резервуары чистой воды (комплектуется резервуарами запаса промывной воды и промывными насосами);
- работа непосредственно на водопроводную сеть (комплектуется встроенным или выносным РЧВ, промывными насосами и насосной станцией 2-го подъема с частотным регулированием давления в сети).

Работа станции полностью автоматизирована. При необходимости в схему автоматики включается скважина, РЧВ или водонапорная башня, обеспечивая автоматизацию и диспетчеризацию всего комплекса водозаборного узла.

Несомненным достоинством контейнерных станций являются высокое качество изготовления и монтажа, контролируемые в заводских условиях, сокращение сроков ввода объекта в эксплуатацию, минимизация подготовительных, строительных и монтажных работ.

## 2. Станции для удаления железа и (или) марганца

В большинстве подземных вод марганец встречается как элемент, сопутствующий наличию железа. Его концентрация обычно ниже концентрации железа, но может превышать допустимые нормы в 5, 10 и более раз. В отличии от железа двухвалентный марганец устойчив к химическому окислению кислородом при  $\text{pH} < 8,5$ . Но подавляющее число железобактерий способно окислять и марганец [6, 7]. В основе этих процессов лежит перекисный механизм, который объясняет возможность биологического окисления марганца при рН близкой к нейтральной, соответствующей большинству подземных вод.

В связи с особенностями механизмов биологического окисления железа и марганца при их совместном присутствии их удаление происходит последовательно. Окисление марганца не может начаться,





пока не закончится окисление железа. Поэтому в большинстве случаев рекомендуется двухступенчатые схемы удаления этих соединений.

Исходя из накопленного опыта эксплуатации эти положения полностью подтвердились. Но при определенных условиях и соотношении концентраций железо/марганец возможно обеспечить удаление этих соединений в одном сооружении.

В связи с тем, что окисление железа и марганца осуществляется одними и теми же видами микроорганизмов, то для их удаления используются технологические и конструктивные схемы, аналогичные удалению железа. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что если период выхода на рабочий режим станции обезжелезивания составляет от одного до 10 дней, то для достаточного развития марганцеоксилирующих бактерий может потребоваться от одного до шести месяцев. Можно сократить этот срок, используя фильтрующую загрузку, заселенную такими бактериями с других подобных станций. Весьма важным условием эффективного удаления как железа, так и особенно марганца, является предварительная аэрационно-дегазационная подготовка воды, существенно повышающая рН и окислительно-восстановительный потенциал.

### 2.1. Одноступенчатая технологическая схема

Такая схема может применяться при относительно небольших концентрациях железа и марганца, нейтральной либо слабощелочной реакцией рН, низких значениях  $\text{CO}_2$ , отсутствием сероводорода и других мешающих веществ.

В основу этой технологии положен процесс последовательного развития железо- и марганцеоксилирующих бактерий на поверхности зерен фильтрующей загрузки по направлению прохождения очищаемой воды. При этом скорость фильтрования должна быть такой, чтобы при фильтровании сверху-вниз в верхней зоне начинался и заканчивался процесс окисления железа, а в нижней – марганца.

Эта технологическая схема может реализоваться в фильтрах с тяжелой (песчаной) загрузкой как в напорном, так и безнапорном вариантах, при выполнении указанных выше условий.

Успешным примером реализации данной технологической схемы на напорных фильтрах с песчаной загрузкой является станция водоподготовки п. Седью Республика Коми производительностью 16 м<sup>3</sup>/ч. При исходном содержании железа 1,8-2,1 мг/л, марганца 0,36-0,55 мг/л, сероводорода – 0,006-0,007 мг/л, рН 6,3 и температуре исходной воды – 4-6 С. Достигнут результат по железу – <0,1 мг/л, по марганцу – 0,01-0,02 мг/л, сероводороду – <0,002 мг/л. Станция успешно эксплуатируется уже более 4-х лет. А факт успешного протекания биологических процессов подтверждается не только высокими показателями очистки, но и бурным ростом объема загрузки. Периодически фильтры вскрываются, образовавшиеся излишки загрузки удаляются из фильтра и используют на соседних объектах в качестве активной загрузки и катализатора процессов обезжелезивания и деманганации.

### 2.2. Двухступенчатая технологическая схема

При сложном составе подземных вод с низким значением рН, повышенном содержании  $\text{CO}_2$ , и других растворенных газов и соединений, совместное удаление железа и марганца в одну ступень невозможно. Одной из важнейших операций при этом является предварительная аэрационно-дегазационная подготовка воды, которую практически невозможно реализовать в напорных схемах. Поэтому в данном случае и рекомендуется безнапорная двухступенчатая технологическая схема очистки таких подземных вод.

Двухступенчатая схема включает биореактор и фильтры с плавающей загрузкой, конструктивно похожие на схему 1.2, но принципиально отличающиеся технологически.

Биореактор технологически разделен на три зоны: верхняя, со специальной орошаемой загрузкой и искусственной вентиляцией; средняя, представляющая затопленный биофильтр; нижняя зона отстаивания. В верхней зоне биореактора обеспечиваются усиленная аэрация и дегазация, позволяющие существенно повысить рН и Eh, определяющие скорости последующих биологических процессов. В средней зоне происходит практически полное окисление железа, а в отстойной зоне задерживается не менее 60-70% продуктов его окисления. Таким образом, снижается нагрузка по железу на вторую ступень и создаются условия для развития марганцеоксилирующих бактерий.

На гранулах загрузки фильтров 2-й ступени образуется биопленка, обеспечивающая изъятие и окисление двухвалентного марганца.

Схемой предусмотрены автоматические промывки биореакторов и фильтров с учетом особенностей регенерации как загрузки биореакторов, так и фильтрующей загрузки фильтров. Для первых используется водо-воздушная промывка поступающей исходной водой, для вторых – очищенной из надфильтрового пространства без применения промывных насосов.

Такая схема обеспечивает минимальные эксплуатационные затраты. Удельный расход электроэнергии не превышает 0,015-0,02 кВт\*ч/м<sup>2</sup>. Концентрации железа и марганца при соответствующих режимах снижаются до значений, значительно ниже нормативных (марганец до следовых значений). Данная технологическая схема успешно реализована на одном из водозаборов г. Краснодар производительностью 6000 м<sup>3</sup>/сут. Объект успешно эксплуатируется уже на протяжении 6 лет. В процессе работы станции снижение содержания растворенного железа снижается с 1,9-2,1 мг/л до менее 0,1 мг/л, растворенного



марганца с 0,6-0,7 мг/л до следовых значений менее 0,01 мг/л. При том что процесс обезжелезивания и деманганации параллельно сопровождается отдувкой сероводорода.

### 3. Станции для удаления сероводорода

Основываясь на фундаментальных исследованиях С.Н. Виноградского и других микробиологов, установивших механизм и стадийность окисления сероводорода серобактериями, становится очевидным, что эффективное его удаление в одну ступень невозможно. Это явилось одной из основных причин того, что биореакторы, предложенные В.Д. Плешаковым и Г.Ю. Ассом, хотя и обеспечивают удаление более 90% сероводорода, но остаточные его концентрации на порядок и более превышают установленные нормы (0,003 мг/л). Это, а также образование коллоидной серы, вызывает необходимость применения дополнительных методов физико-химической доочистки.

В основу предлагаемой технологии положена двухступенчатая технологическая схема окисления сероводорода серобактериями. На первой ступени обеспечивается окисление сероводорода до элементарной серы с ее накоплением внутри бактериальных клеток (стадия 1), на второй – окисление внутриклеточной серы до серной кислоты (стадия 2) [8].

Конструктивно первая ступень представляет собой биореактор с затопленной полимерной загрузкой, имеющей удельную поверхность не менее 180 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> и высоту не менее 2,0 м, а на второй ступени используется фильтр-биосорбер с неоднородной полимерной загрузкой высотой 1,0-1,5 м.

Основными условиями эффективного удаления сероводорода по этой технологии является регулируемая низкоинтенсивная аэрация, обеспечивающая достаточные аэробные условия протекания биологических процессов, оптимальные нагрузки по ступеням очистки и создание дефицита сероводорода (питания серобактерий) на второй стадии процесса.

Полномасштабные лабораторные и пилотные исследования в производственных условиях показали, что эта технология обеспечивает снижение концентрации сероводорода до нормативных для питьевой воды значений без применения химических реагентов, предотвращает образование коллоидной серы в обрабатываемой воде и существенно снижает выброс сероводорода в атмосферу.

Очевидно, что идеальных и универсальных методов и технологий не бывает. Каждая из них обладает своими преимуществами, недостатками и областью наиболее эффективного применения. Причем, многие недостатки, впрочем, и преимущества, не очевидны и выявляются только в процессе длительной эксплуатации.

Опыт показывает, что в связи с тем, что состав и свойства подземных вод различных водозаборов индивидуальны, разработка технологической схемы и конструктивные особенности сооружений для каждого объекта так же индивидуальны. Их оптимизация возможна только на основании специальных технологических изысканий. Для этого разработана специальная программа и оборудование для предпроектных лабораторных, полупроизводственных и пилотных изысканий непосредственно на воде источника водоснабжения.

Накопленный опыт исследований, разработки и реализации биохимических технологий очистки подземных вод, позволяют успешно решать задачи очистки сложных многокомпонентных вод с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами. Оптимальное конструктивное оформление технологических процессов, заводское изготовление оборудования и полная автоматизация гарантируют высокую надежность и эффективность работы станций водоподготовки.

#### Литература.

1. Виноградский С.Н. Микробиология почвы: проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. - 792 с.
2. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т.– СПб.: Новый журнал. 2007г.
3. Журба М.Г. и др. Биохимическое обезжелезивание и деманганация подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006, №9. – С. 17-23.
4. Седлуха С.П. Способ обезжелезивания подземных вод // Патент ВУ 1416 от 1996.
5. Седлуха С.П., Иванов С.А. Установка для обезжелезивания подземной воды // Патент ВУ 10695 от 2008.
6. Седлуха Ю.П. и др. Очистки сложных многокомпонентных вод биохимическими методами // Вода Magazine – 2014, №6(82).
7. Седлуха Ю.П. Влияние аэрационно-дегазационных процессов на свойства подземных вод и технологии их биологического обезжелезивания и деманганации // Вода. – 2012, №7-8(181).
8. Седлуха Ю.П., Иванов С.А. Двухступенчатый способ очистки подземных вод от сероводорода и устройство для его осуществления // Роспатент. Решение о выдаче патента на изобретение по заявке №2014101506/05(002135) от 17.01.2014.

**Презентацию – см. в электронном архиве конференции.**

*Полимерконструкция, УП (Республика Беларусь)  
Республика Беларусь, г. Витебск, ул. Гагарина, д.11  
т.: +375 212 65 06 60 info@polymercon.com www.polymercon.com*